



Construction Métallique
08- Vérification des sections en sollicitations composées

ISA BTP
ÉCOLE D'INGÉNIEURS

Philippe MARON Maître de conférences
ISABTP-UPPA

150Novembre
22001145

- **Critère de résistance de 'base'' :**
  - $\sigma \leq \sigma_e$
- **Contrainte normale σ et/ou contrainte tangentielle τ ?**
  - $\sigma \leq \sigma_e$: on ne tient pas compte de la contrainte tangentielle τ
  - $\tau \leq \sigma_e$: on ne tient pas compte de la contrainte normale σ
  - => il faut tenir compte des deux

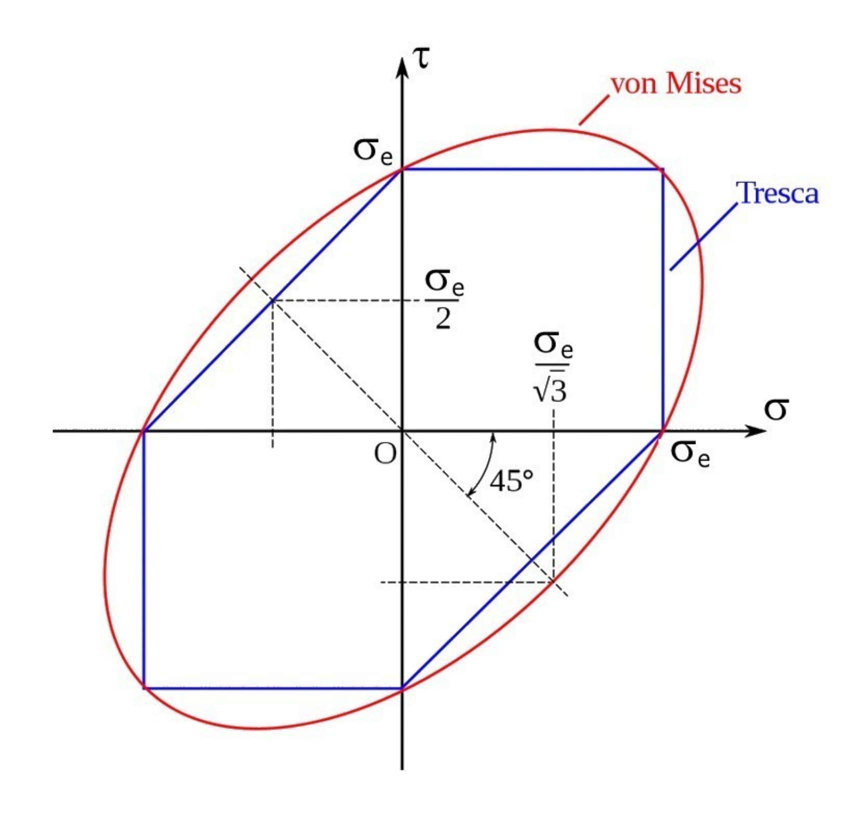
- **Il existe plusieurs critères permettant de tenir compte de l'interaction entre la contrainte normale et la contrainte tangentielle , dont**
  - Critère de Tresca (critère de la contrainte de cisaillement maximal) :

    $$\sqrt{\sigma^2 + 4.\tau^2} \leq \sigma_e$$

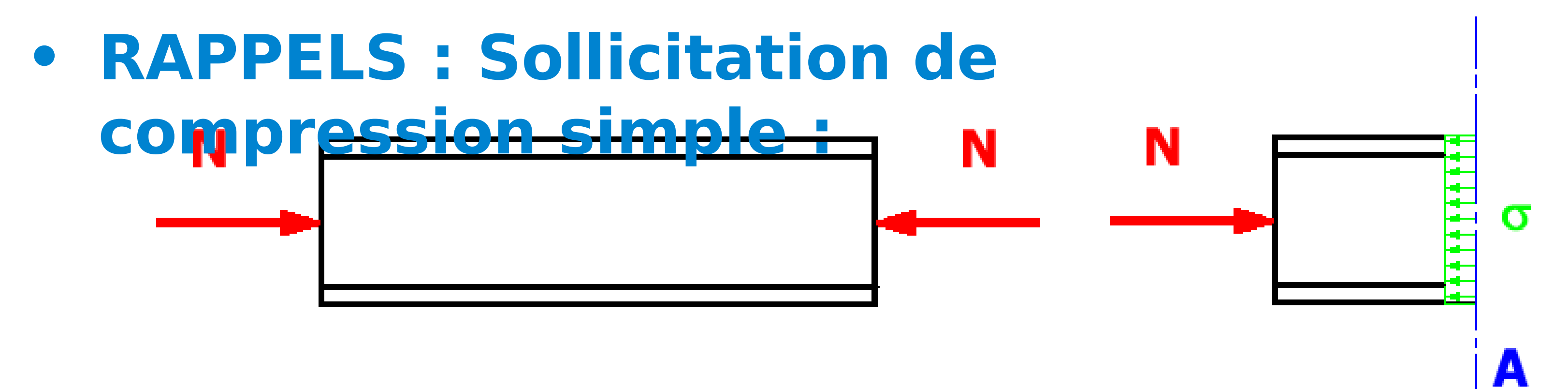
  - Critère de von Mises (critère de l'énergie de distorsion élastique) :

    $$\sqrt{\sigma^2 + 3.\tau^2} \leq \sigma_e$$

  - …



- **RAPPELS : Sollicitation de compression simple :**



$$\sigma \leq \sigma_{elastique} = f_y$$

$$N = N_{Ed} = \sigma \,.\, A$$

$$N_{Ed} \leq A.f_y$$

'+' Coefficient de sécurité

$$N_{Ed} \leq \frac{A.\,f_y}{\gamma_{M0}} = N_{c,Rd}$$

Ou

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

c comme “compression” !

- **RAPPELS : Sollicitation de compression simple :**

N N N σ A

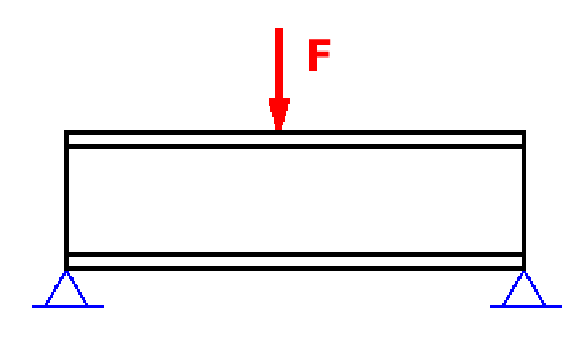
$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

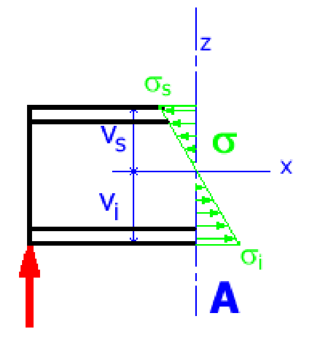
Sections brutes :

- Classe 1, 2, 3 : $N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A.f_y}{\gamma_{M0}}$
- Classe 4 : $N_{c,Rd} = N_{el,Rd} = \frac{A_{eff}.f_y}{\gamma_{M1}}$

+ vérification de la stabilité au **FLAMBEMENT**

• Sollicitation de flexion





Hypothèses :

Section de classe 3

$\sigma_e > \sigma_i \geq$ I σ_s

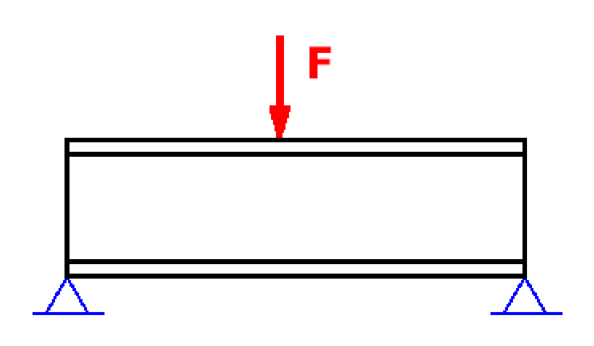
$|\sigma_i| < \sigma_{elastique} = f_y$

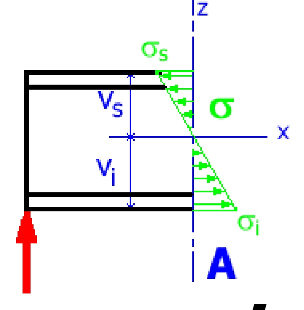
$M = M_{Ed} = \int \sigma(z).z.ds$

$$|\sigma_i| = \frac{M_{Ed}.v_i}{I_y}$$

A

• Sollicitation de flexion





Hypothèses :

Section de classe 3

$\sigma_e > \sigma_i \geq \sigma_s$

$$|\sigma_i| < \sigma_{elastique} = f_y$$

$$M = M_{Ed} = \int \sigma(z).z.ds$$

$$|\sigma_i| = \frac{M_{Ed} \cdot v_i}{I_y}$$

$$M_{Ed} < \frac{I_y}{v_i} \cdot f_y = W_{ely,min} \cdot f_y$$

'+' Coefficient de sécurité

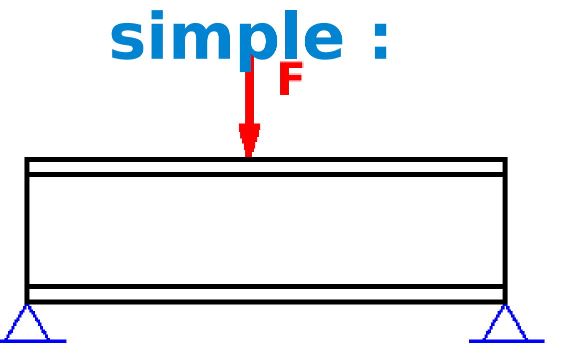
$$M_{Ed} \leq \frac{W_{ely,min} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = M_{el,Rd}$$

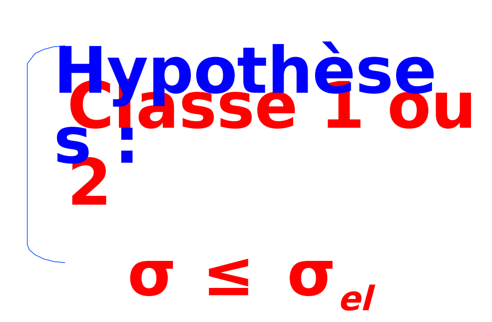
Ou

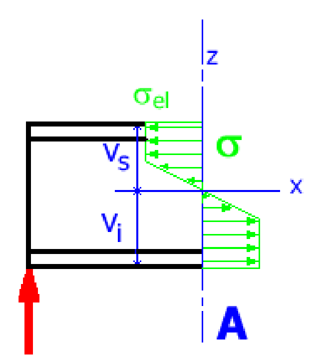
$$\frac{M_{Ed}}{M_{el,Rd}} \leq 1$$

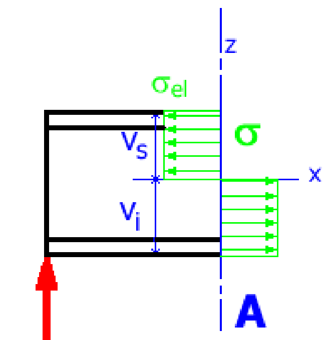
+ vérification de la stabilité au

- **Sollicitation de flexion simple :**





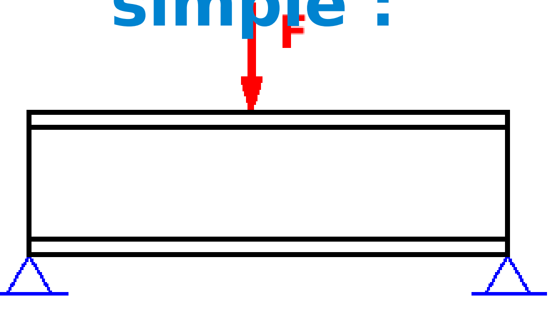




$|\sigma| \leq \sigma_{ela}$



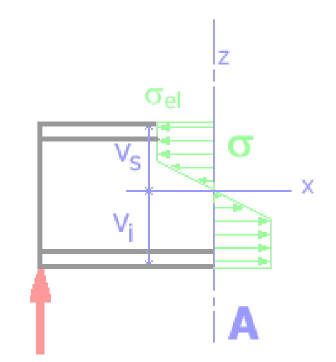
- **Sollicitation de flexion simple :**

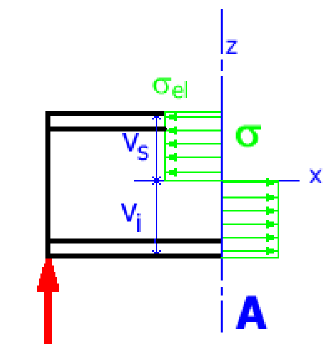


Hypothèses :

Classe 1 ou 2

$\sigma \leq \sigma_{el}$





$|\sigma| \leq \sigma_{elastique} = f_y$

$M = M_{Ed} = \int_A \sigma(z) . z . ds$

$M_{Ed} \leq \int_A \sigma_{el} . z . ds$

$M_{Ed} \leq f_y . \int_A z . ds = f_y . W_{pl,y}$

'+' Coefficient de sécurité

$$M_{Ed} \leq \frac{W_{pl,y} . f_y}{\gamma_{M0}} = M_{pl,Rd}$$

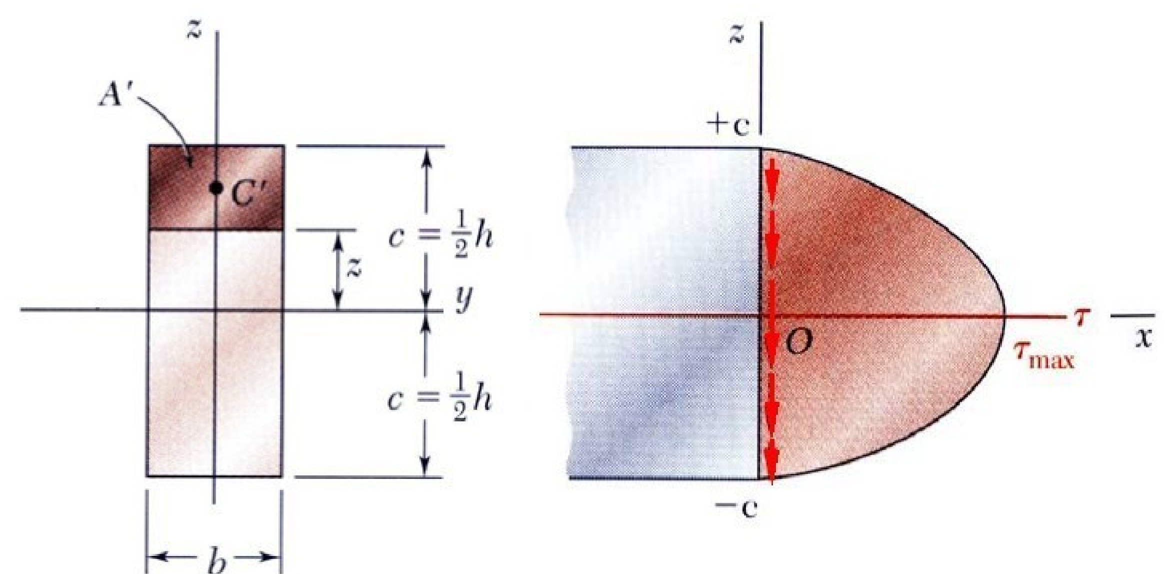
Ou

$$\frac{M_{Ed}}{M} \leq 1$$

+ vérification de la stabilité au **DEVERSEMENT**

- **Sollicitation de cisaillement simple : ?**

- **Sollicitation de cisaillement simple :**
  - **Repartition des contraintes de cisaillement dans une section de poutre rectangulaire (étroite)**

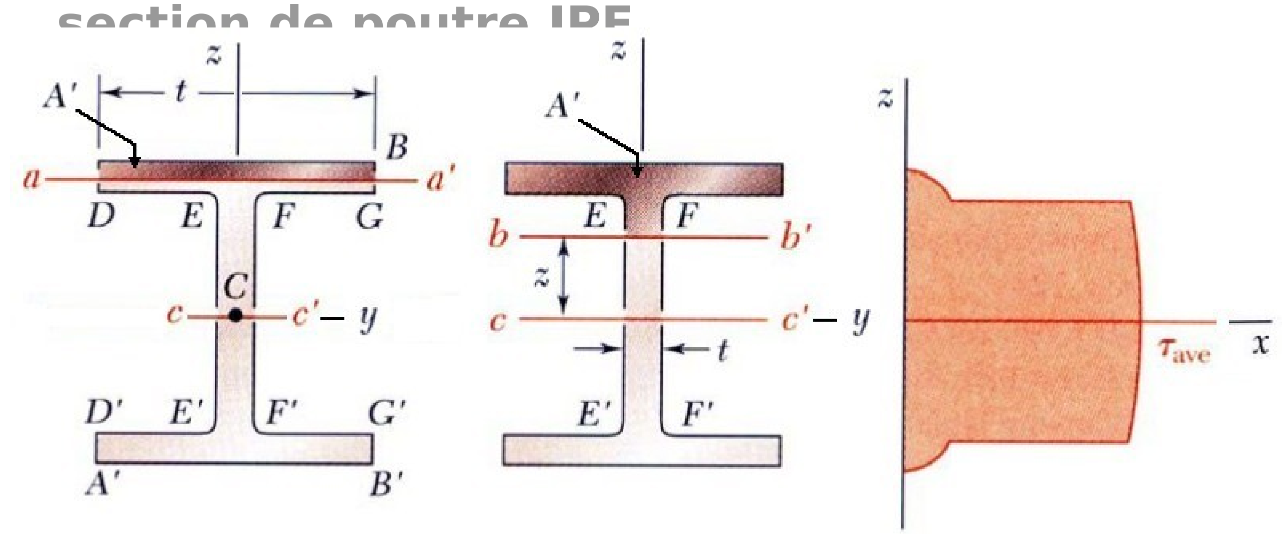


$$\tau(x,z) = \frac{F_y \cdot \nu}{b} = \frac{3}{2}\frac{V}{A}\left(1-\frac{z^2}{c^2}\right)$$

$$\tau_{max} = \frac{3}{2}\cdot\frac{V}{A}$$

ν : Moment statique de la section A'

- **Sollicitation de cisaillement simple :**
  - Repartition des contraintes de cisaillement dans une section de poutre IPE



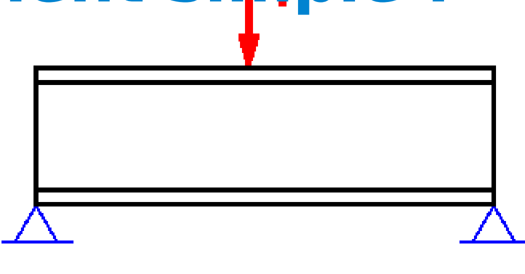
$$\tau(z) = \frac{V.\nu}{I.t}$$

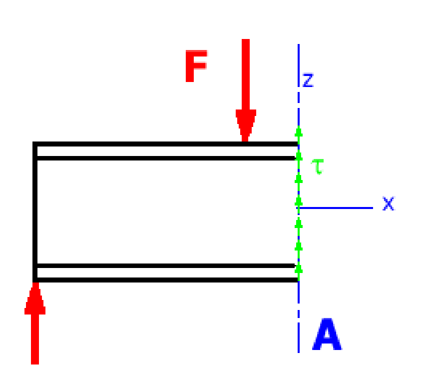
$$\tau_{max} = \frac{V}{A_{âme}}$$

ν : Moment statique de la section A' t : Largeur de la



- **Sollicitation de cisaillement simple :**

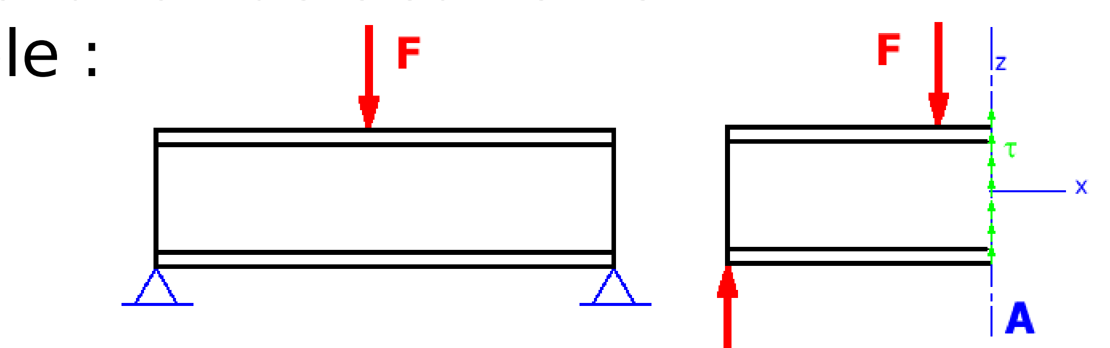




$$|\sqrt{3}\,.\,\tau| \leq \sigma_{elastique} = f_y$$

$$\tau_{max} = \frac{V}{A_{âme}}$$

- Sollicitation de cisaillement simple :



$|\sqrt{3}\,.\,\tau| \leq \sigma_{elastique} = f_y$

$\tau_{max} = \frac{V}{A_{âme}}$

$f_y \geq \frac{\sqrt{3}\,.\,V_{Ed}}{A_{âme}}$ => $V_{Ed} \leq \frac{A_{âme}\,.\,f_y}{\sqrt{3}}$

Aire de cisaillement : $A_v \approx A_{âme}$

'+' Coefficient de sécurité

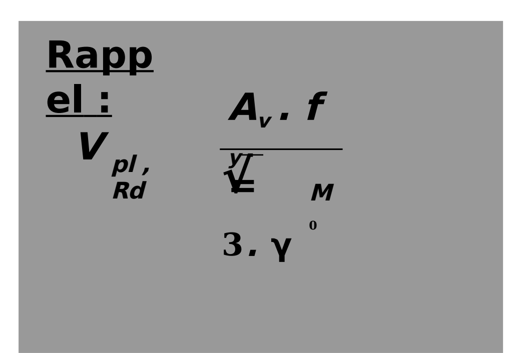
$V_{Ed} \leq V_{pl,Rd} = \frac{A_v\,.\,f_y}{\sqrt{3}\,.\,\gamma_M}$

Ou

$\frac{V_{Ed}}{...} \leq$

- **Sollicitations de Flexion-Compression-Cisaillement :**
  - **Effet du cisaillement :**
    - **Si $V_{Ed} \leq 0,5.V_{pl,Rd}$: Effet négligeable => Non pris en compte**
    - **Sinon => on utilise une limite élastique réduite :** $(1-\rho).f_y$

avec : $\rho = \left(\frac{2.V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1\right)^2$



• Sollicitations de Flexion-Compression :

- On vérifie que $\frac{M_{Ed}}{M_{N,Rd}} \leq 1$
- L'expression de $M_{N,Rd}$ dépend de :
  - Classe de la section :
    - *Classe 1 et 2*
      - *Forme de la section :*
        - *Section pleine rectangulaire sans*
        - *trous de fixation Section*
        - *bisymétrique en I, H ou autres*
        - *Profils creux d'épaisseurs uniforme*
    - *Classe 3*
    - *Classe 4*

- **Sollicitations de Flexion-Compression :**
  - On vérifie que $\frac{M_{Ed}}{M_{N,Rd}} \leq 1$
  - L'expression de $M_{N,Rd}$ dépend de :
    - **Classe de la section :**
      - ***Classe 1 et 2***
        - ***Section pleine rectangulaire sans trous de fixation***

$$M_{N,Rd} = M_{pl,Rd} \cdot \left[1 - \left(\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}\right)^2\right]$$

+ vérification de la stabilité au DEVERSEMENT

• Sollicitations de Flexion-Compression :

- On vérifie que $\frac{M_{Ed}}{M_{N,Rd}} \leq 1$
- L'expression de $M_{N,Rd}$ dépend de :
  - Classe de la section :
    - ✓ *Classe 1 et 2*
      - *Section bisymétrique en I, H ou autres*
        - *Si* $\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \leq 0{,}25$ *et* $N_{Ed} \leq \frac{0{,}5 . h_w . t_w . f_y}{\gamma_{M0}}$

          ***=> il n'est pas nécessaire de tenir compte de l'effort normal** => Calcul en flexion simple*
        - *Si* $N_{Ed} \leq \frac{h_w . t_w . f_y}{\gamma_{M0}}$

          ***=> il n'est pas nécessaire de tenir compte de l'effort normal dans le calcul autour de l'axe faible z-z** => Calcul en flexion simple autour de l'axe faible z-z*

+ vérification de la stabilité au **DEVERSEMENT**

Sollicitations de Flexion-Compression :

- On vérifie que $\frac{M_{Ed}}{M_{N,Rd}} \leq 1$
- L'expression de $M_{N,Rd}$ dépend de :
  - Classe de la section :
    - ✓ *Classe 1 et 2*
      - *Section bisymétrique en I, H ou autres*
        - *Sinon :*
          - *Autour de l'axe fort y-y*

$$M_{N,y,Rd} = M_{ply,Rd} \cdot \frac{1-n}{1-0,5\,a} \quad \text{et} \quad M_{N,y,Rd} \leq M_{ply,Rd}$$

          - *Autour de l'axe faible z-z*
            - Si $n \leq a$: $M_{N,z,Rd} = M_{plz,Rd}$
            - Si $n > a$: $M_{N,z,Rd} = M_{plz,Rd} \cdot \left[1-\left(\frac{n-a}{1-a}\right)^2\right]$

Avec : $n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$, $a = \frac{A-2.b.t_f}{A}$ et $a \leq 0,5$

+ vérification de la stabilité au **DEVERSEMENT**

Sollicitations de Flexion-Compression :

- On vérifie que $\frac{M_{Ed}}{M_{N,Rd}} \leq 1$
- L'expression de $M_{N,Rd}$ dépend de :
  - Classe de la section :
    - Classe 1 et 2
      - profils creux rectangulaires d'épaisseur uniforme
        - Autour de l'axe fort y-y

$$M_{N,y,Rd} = M_{ply,Rd} \cdot \frac{1-n}{1-0{,}5 \cdot a_w} \quad \text{et} \quad M_{N,y,Rd} \leq M_{ply,Rd}$$

        - Autour de l'axe faible z-z

$$M_{N,z,Rd} = M_{plz,Rd} \cdot \frac{1-n}{1-0{,}5 \cdot a_f} \quad \text{et} \quad M_{N,z,Rd} \leq M_{plz,Rd}$$

Sections creuses	$a_w = \frac{A-2.b.t}{A}$ $a_w \leq 0{,}5$	$a_f = \frac{A-2.h.t}{A}$ $a_f \leq 0{,}5$
Sections en caisson soudées	$a_w = \frac{A-2.b.t_f}{A}$ $a_w \leq 0{,}5$	$a_f = \frac{A-2.h.t_w}{A}$ $a_f \leq 0{,}5$

+ vérification de la stabilité au DEVERSEMENT





- **Sollicitations de Flexion-Compression :**

  ✓ ***Classe 1 et 2***

  - ***Cas d'une flexion bi-axiale Il faut vérifier :***

$$\left[\frac{\;}{M_{N,y,Rd}}\right]^{\alpha} + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M}\right]^{\beta} \leq$$

En sécurité, on peut prendre α ***et*** β ***égaux à 1***

N,z,Rd

+ vérification de la stabilité au **DEVERSEMENT**

• Sollicitations de Flexion-Compression :

✓ *Classe 3 :* ***Il faut vérifier :***

$$\frac{N_{Ed}}{A \cdot f_y / \gamma_{M_0}} + \frac{M_{y,Ed}}{W_{el,y,min} \cdot f_y / \gamma_{M_0}} + \frac{M_{z,Ed}}{W_{el,z,min} \cdot f_y / \gamma_{M_0}} \leq 1$$

✓ *Classe 4 :* ***Il faut vérifier :***

$$\frac{N_{Ed}}{A_{eff} \cdot f_y / \gamma_{M_0}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{Ny}}{W_{eff,y,min} \cdot f_y / \gamma_{M_0}} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{Nz}}{W_{eff,z,min} \cdot f_y / \gamma_{M_0}} \leq 1$$

Avec :

- A_{eff} ***Aire efficace de la section transversale***
- $W_{eff,min}$ ***le module de flexion efficace***
- e_N ***le décalage d'axe neutre approprié en supposant la section transversale soumise à la seule compression***

+ vérification de la stabilité au

CONTACT

Philippe MARON

ISABTP - UPPA

philippe.maron @univ-pau.fr





